مهندسی عمران شریف، تابستان (۱۳۹۹)
دوره‌ی ۲-۳۶، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۸۱-۹۱

Original Article

# مطالعه مدیریت ریسک تأسیسات آب و فاضلاب با روش تلفیقی AHP و RAMCAP

**مجید شیخعلی (دانشجوی کارشناسی ارشد)**
**غلامرضا اسداله فردی * (استاد)**
**سید شهاب امامزاده (استادیار)**
**گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی**

تأسیسات آب و فاضلاب جزء سرمایه‌ها و زیرساخت‌های اساسی هر کشوری است و هر نوع توقف خدمت‌رسانی و خسارت به این سامانه ممکن است مسائل اجتماعی و سیاسی در پی داشته باشد و نیز سلامتی و جان انسان‌ها را به خطر اندازد. از این‌رو، مطالعه و ارزیابی دارایی و آسیب‌پذیری تأسیسات یاد شده در برابر حملات احتمالی ضروری است تا بتوان برای کاهش ریسک احتمالی برنامه‌ریزی کرد. با توجه به این مسئله در این مطالعه روش تلفیقی (RAMCAP) و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) کل زیرساخت آب و فاضلاب شهر تهران از لحاظ ارزش دارایی و ریسک‌پذیری بررسی شده است؛ این مطالعه در زمره‌ی تحقیقات کاربردی (نوع توسعه‌یی) است و در این مسیر از روش ماتریس زوجی با اخذ نظرات ۴۲ خبره استفاده شده است؛ برای تحلیل داده‌ها از روش سلسله‌مراتبی با استفاده از راهنمای RAMCAP استفاده شده است و برای منطقی بودن مقایسات زوجی هر پاسخ دهنده به ماتریس ارائه شده از نرخ ناسازگاری استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد از نظر اهمیت دارایی‌ها، سد لتیان با دارا بودن عدد ارزش دارایی ۱ حائز بیشترین ارزش دارایی است و بعد از آن سد لار با عدد ارزش دارایی ۰٫۶۹۲۰ در ردیف دوم است و شبکه‌ی توزیع آب و مخازن ذخیره با عدد ارزش دارایی به‌ترتیب ۰٫۰۳۱۲ و ۰٫۰۳۱۰ بر مبنای سه معیار ارزش اقتصادی، ارزش عملکردی، منحصربه‌فرد بودن در ردیف آخر این ارزش‌گذاری قرار دارند. همچنین ۱۲ تهدید مختلف ارزیابی شد که در این بین حملات شیمیایی و میکروبیوهسته‌یی (زیست‌هسته‌یی) با عدد نزدیک به یک ۱ بیشترین احتمال وقوع را دارند. بیشترین آسیب‌پذیری ناشی از تهدید مربوط به حملات شیمیایی، میکروبی و هسته‌یی نیز مربوط به سد لتیان با عدد آسیب‌پذیری ۰٫۹۳۱۰ است؛ سپس سد امیرکبیر با عدد ۰٫۸۳۵۳ و سد طالقان با عدد ۰٫۶۳۰۴ جزء آسیب‌پذیرترین تأسیسات آب و فاضلاب هستند.

**واژگان کلیدی:** ریسک، زیرساخت، ارزش دارایی، آسیب‌پذیری، RAMCAP، AHP.

majid.sheykhali@yahoo.com
fardi@khu.ac.ir
shemamzadeh@khu.ac.ir

## ۱. مقدمه

دسترسی به آب آشامیدنی سالم، یکی از نیازهای حیاتی جوامع است. بخشی از مدیریت آب‌رسانی، تأمین امنیت تأسیسات آب و فاضلاب است که همچون دستگاه گردش خون در بدن، امکان ادامه‌ی فعالیت و حیات را در جامعه میسر می‌سازد.[۱و۲] با توجه به اهمیت تأسیسات آب‌رسانی، گاهی در عملیات خراب‌کاری توسط دشمن، این تأسیسات به‌عنوان مراکز راهبردی هدف قرار می‌گیرند که ممکن است منجر به آسیب جدی به جامعه و گاهی ایجاد بحران‌های امنیتی شود.[۳] دشمن اگر از طریق حملات فیزیکی قادر به آسیب‌رسانی نباشد، ممکن است با عملیات تخریبی یا آلوده‌سازی به هر بخش از تأسیسات آبی حمله کند که جبران خسارات وارده یا جایگزین کردن آن‌ها بسیار سخت و زمان‌بر خواهد بود و علاوه بر آن حوادث ثانویه‌یی را ایجاد خواهد کرد.[۴] تاریخچه‌ی برخی تحقیقات انجام گرفته در این زمینه به شرح زیر است:

هایمز و همکاران (۱۹۹۸)، توصیه‌ها و پیشنهادهایی برای کاهش آسیب‌پذیری سامانه‌های آب آشامیدنی بر اساس یک سناریوی حمله‌ی اتفاقی ارائه دادند. تهدید

* نویسنده مسئول
*تاریخ: دریافت ۱۳۹۷/۱۰/۱۸، اصلاحیه ۱۳۹۸/۱/۱۷، پذیرش ۱۳۹۸/۱/۳۱.*
*DOI:10.24200/J30.2019.52458.2473*

تروریستی شامل تهدید فیزیکی، شیمیایی، زیستی و سایبری (رایاتک) برای سامانه‌های آب در نظرگرفته شد. یک مدل هولوگرافی (تمام نگاری) سلسله‌مراتبی [1] برای دیدگاه‌های مختلف در مورد حفاظت از سامانه‌های آب معرفی شد.[۵]

یک رویکرد ارزیابی تهدیدات سامانه‌های تأمین آب با استفاده از مدل اثرات پنهان مارکوف (MLE) [2] توسط تیدول و همکاران در سال ۲۰۰۵ ارائه شده است. این روش، تجزیه‌ی یک سامانه‌ی تهدید پیچیده به سامانه‌های ریز یا عناصر تصمیم برای تجزیه و تحلیل یک تهدید مشخص از مبدأ است. سپس تمام عناصر تصمیم‌گیری جمع می‌شوند و نمره‌ی ارزیابی به دست می‌آید که نشان‌دهنده‌ی اعتبار تهدید است. این رویکرد بر روی یک سامانه‌ی توزیع آب واقعی شهری با دو حمله‌ی مختلف اعمال شد: بمب‌گذاری و تزریق آلودگی (سم)؛ برای هر حمله سطح امنیت سامانه ارزیابی شد.[۶]

میچاد و اپستلاکیس در سال ۲۰۰۶ روشی را برای رتبه‌بندی عناصر شبکه‌ی آب‌رسانی از منظر آسیب‌پذیری ارائه دادند و بیان کردند که برای رسیدن به هدف ارزیابی ریسک باید به سؤالاتی از قبیل چه اشتباهی می‌تواند رخ دهد؟ چه پیامدهایی دارد؟ و چه میزان محتمل است؟ بتوان پاسخ داد. پیامد یا حالت‌های پایانی معمولاً با سلامت و ایمنی مردم مرتبط است؛ اگرچه دیگر حالت‌های پایانی مانند پیامدهای اقتصادی را نیز ممکن است شامل شود. آنان معتقد بودند که نقطه‌ی شروع مطالعه، شناسایی دارایی‌های زیرساخت شبکه‌ی آب‌رسانی است و دریافتند که برای تحلیل جامع آسیب‌پذیری ظرفیت عناصر سامانه باید در نظرگرفته شود. گام عمده برای این ارزیابی آسیب‌پذیری جامع ارزیابی کل سامانه است.[۷]

ایزل در سال ۲۰۰۷ روشی به نام ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت (I − VAM) [3] ارائه کرد. مدل ارائه شده برای یک سامانه‌ی آب آشامیدنی در مقیاس متوسط اعمال شد. در این مدل از کارشناسان متخصص برای ارزش‌دهی، وزن‌دهی و ارزیابی اقدامات حفاظتی سامانه استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده I-VAM می‌تواند برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری به سایر زیرساخت‌ها، سامانه‌های نظارت بر کنترل و جمع‌آوری داده‌ها (SCADA) [4] و سامانه‌های کنترل توزیع استفاده شود.[۸]

فرس و زید در سال ۲۰۱۰ مدلی را بر مبنای دو روش تحلیل سلسله مراتبی و استنتاج فازی ارائه کردند. در این مدل قوانین فازی با استفاده از توابع عضویت فازی پارامترهای تأثیرگذار بر شکست لوله‌ها ساخته می‌شود و نهایتاً بر اساس این قوانین، وضعیت لوله‌ها از نظر ریسک شکست تعیین می‌شود.[۹]

کروزسکا در سال ۲۰۱۱ روشی را برای تحلیل ریسک سامانه‌های آب‌رسانی بر مبنای ساخت قوانین فازی بر مبنای ارتباط احتمال، شدت و آسیب‌پذیری ارائه داد و کاربرد آن را در شبکه‌یی در کشور لهستان بررسی کرد.[۱۰]

نردو و همکاران در سال ۲۰۱۳ در مطالعه‌یی، با عنوان حفاظت از شبکه‌ی آب از آلودگی عمدی، توسط سامانه‌ی تقسیم‌بندی، شبکه‌ی آب شهری را از مقیاس بزرگ به کوچک تقسیم و نحوه‌ی گسترش آلودگی در مقیاس بزرگ با کوچک را بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش خسارت جانی و مالی در صورت تقسیم‌بندی مناسب بود.[۱۱]

میلو و پانتوسا در سال ۲۰۱۸ در تحقیقی با عنوان «شاخص آسیب‌پذیری زیرساخت‌های سامانه‌های آب آشامیدنی برای حمله‌ی تروریستی» یک مدل برای آسیب‌پذیری زیرساخت سامانه‌ی توزیع آب آشامیدنی ارائه کردند و هر دو آلودگی عمدی و آسیب فیزیکی را در نظرگرفتند. این مدل از یک ساختار سلسله‌مراتبی استفاده کرده است و سامانه را به اجزایی تجزیه کرده و از روند تحلیلی سلسله‌مراتبی برای محاسبه‌ی وزن استفاده شده است. این مدل برای سه طرح آب در استان کرتونه (جنوب ایتالیا) [5] آزموده شد.[۱۲]

تابش و همکاران در سال ۱۳۹۷ ارزیابی خطرپذیری تصفیه‌خانه‌های آب با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی (مطالعه‌ی موردی تصفیه‌خانه‌ی جلالیه‌ی تهران) به ارزیابی ریسک تصفیه‌خانه با روش تحلیل ریسک درخت خطا با دو رویکرد فازی و ساده پرداخته‌اند. رویداد نامطلوب شناسایی شده در این مطالعه کمیت و کیفیت نامناسب آب بود. با رتبه‌بندی تهدیدات پایه مشخص شد خرابی تجهیزات برق‌رسانی، تعمیر و نگهداری نامناسب پمپ‌ها بیشترین تأثیر را در عملکرد تصفیه‌خانه دارند.[۱۳]

نخعی و همکاران در سال ۱۳۹۶ به محاسبه‌ی ریسک سامانه‌ی آب‌رسانی پرداختند. در این پژوهش ابتدا به ارزیابی دارایی‌ها و تهدیدات خاص مربوط به سامانه‌ی آب‌رسانی و در ادامه به ارزیابی شدت آسیب‌پذیری دارایی‌ها پرداخته شد و در نهایت با محاسبه‌ی عدد ریسک هر یک از دارایی‌ها با استفاده از روش رمکپ [6] به‌ترتیب دارایی سدها، مخازن به همراه ایستگاه پمپاژ، تصفیه‌خانه‌ها و چاه‌ها به‌عنوان واحدهای آسیب‌پذیر مشخص شدند. از دیگر نتایج این تحقیق مشخص شدن تهدیدات پایه‌ی تأثیرگذار بر این سامانه شامل آلودگی آب، حملات موشکی و سپس حملات سایبری است.[۱۴]

اسکندری و همکاران در سال ۱۳۹۳ با معرفی شریان‌های آب و برق با استفاده از دو مدل نظریه‌ی گراف و مدل لئونتیف [7] ۲۴۰ سناریو برای ارزیابی آسیب‌پذیری و ریسک این شریان‌ها ارائه دادند که در بین سناریوهای تک‌متغیره سناریوی انفجار در تصفیه‌خانه و در بین سناریوهای ترکیبی انفجار دو تصفیه‌خانه و یک پست برق بیشترین احتمال وقوع را داشتند.[۱۵]

عسگریان و همکاران در سال ۱۳۹۲ به‌منظور برنامه‌ریزی برای مدیریت عملکرد شبکه در شرایط بحرانی، مانند بروز خطرات طبیعی و انسان‌ساز، الگویی برای ارزیابی ریسک شبکه‌های فاضلاب در مواجهه با بحران‌ها تدوین کردند؛ در این الگو پارامترهای ریسک که احتمال وقوع تهدیدات، شدت اثر آن‌ها و آسیب‌پذیری اجزای شبکه بودند، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ی فازی از طریق پرسش‌نامه و تعریف معیارهایی برای سنجش اثر آن‌ها اندازه‌گیری شدند.[۱۶]

با توجه به اهمیت زیرساخت های آبی کشور، آسیب‌پذیری آنها (از منظر پدافند غیرعامل) و همچنین راهکارهای کاهش آسیب‌پذیری در مواجهه با شرایط بحرانی و خطراتی همچون تهاجم نظامی و انفجار و مواردی از این قبیل، در ایران ارزیابی ریسک و نیز تعیین ارزش دارایی تأسیسات آبی دارای اهمیت حیاتی است تا بتوان از نتایج آن در برنامه‌ریزی کاهش خسارت احتمالی به تأسیسات آبی استفاده کرد.

هدف از این مطالعه ارزش‌گذاری دارایی‌های سامانه‌ی آب‌رسانی، شناسایی تهدیدات و کمّی کردن هر تهدید و محاسبه‌ی عدد آسیب‌پذیری دارایی‌ها، ارزیابی ریسک کل سامانه و شناسایی ریسک پذیرترین دارایی با استفاده از تلفیق روش‌های RAMCAP [8] و AHP [9] است.

## ۲. محدوده‌ی مطالعه

فضا و محدوده‌ی پژوهش تمام تأسیسات اصلی آب‌رسانی شهر تهران است. اجزای اصلی سامانه‌ی آب‌رسانی شهر تهران در حال حاضر عبارت‌اند از سدهای کرج (امیرکبیر)، طالقان، لار، لتیان، نمرود، شهید غفوری، سد ماملو، سد زیارت، تصفیه‌خانه‌ها، تلمبه‌خانه‌ها، شبکه‌ی توزیع و تعدادی حلقه چاه عمیق و رودخانه. در راستای شناخت وضع موجود و درک ضرورت بررسی تمهیدات پدافند غیرعامل در

تأسیسات آب‌رسانی شهر تهران، داده‌های خام از شرکت‌های آب منطقه‌یی شهر تهران و سایر شرکت‌هایی که به نحوی با پژوهش حاضر مرتبط بودند، گردآوری شده است.

## ۳. روش پژوهش

روش پژوهش مورد استفاده در این پژوهش «توصیفی ـ تحلیلی» است که از تلفیق دو روش فرایند سلسله مراتبی AHP[۱۷] و RAMCAP [۱۸] و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP که یکی از روش‌های تصمیم‌گیری است، بهره گرفته شده است. بدین منظور، سعی شده است از روش‌های کمّی و کیفی به‌صورت هم‌زمان استفاده شود. پس از تعیین معیارها و شاخص‌ها (دارایی‌ها) مقایسات زوجی بر اساس نظر خبرگان انجام شد. به‌طورکلی اگر تعداد شاخص‌ها (دارایی‌ها) و معیارها به‌ترتیب $m$ و $n$ باشند، آنگاه ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها $m^*m$ و ماتریس مقایسات زوجی معیارها یک ماتریس $n^*n$ خواهد بود.[۱۹] محاسبه‌ی وزن از طریق روابط ۱ تا ۷ به دست آمده است. مقایسه‌ی بین دو عنصر با استفاده از مقادیر ۱ تا ۹ از مقیاس AHP جمع‌آوری شد. درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی شاخص‌ها و معیارها به‌صورت ماتریس ۱ حاصل شد. هر یک از درایه‌های این ماتریس حاصل نظر هر خبره بر اساس اعداد ارجحیت است. عدد ۱ اهمیت برابر شاخص یا معیار مقایسه شده بر طبق نظر خبرگان را نشان می‌دهد. اگر بعد ستون و سطر این ماتریس را معیارها یا شاخص‌ها بر طبق هدف مقایسات زوجی تشکیل دهد، آنگاه برای تشکیل این ماتریس هر یک از معیارها یا شاخص‌ها با کل معیارها یا شاخص‌ها مقایسه می‌شود و یک ردیف از ماتریس تشکیل می‌گردد. با ادامه‌ی این روند تا آخرین مقایسه ماتریس نهایی ۱ تشکیل می‌شود.

$$A=\begin{bmatrix} ۱ & a_{۱۲} & \cdots & a_{۱n} \\ \frac{۱}{a_{۱۲}} & ۱ & \cdots & a_{۲n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{۱}{a_{۱n}} & \frac{۱}{a_{۲n}} & \cdots & ۱ \end{bmatrix} \quad (۱)$$

زمانی که مقایسات زوجی بین چند خبره انجام می‌شود، طبق دستورالعمل ساعتی[۱۰] (۱۹۸۰) باید از میانگین هندسی رابطه‌ی ۲ استفاده شود.[۲۰]

$$a'_{ij}=\left(\prod_{i=۱}^{n} a_{ij}\right)^{۱/n} \quad (۲)$$

$n$ عبارت است از تعداد مقایسات زوجی برای هرشاخص.

وزن‌های هر سطر ماتریس شاخص‌ها و معیارها به ترتیب از روابط ۳ و ۴ حاصل می‌شوند:

$$w_i=\frac{\left(\prod_{i=۱}^{n} a_i\right)^{۱/n}}{\sum_{i=۱}^{n}\left(\prod_{i=۱}^{n} a_i\right)^{۱/n}}, i=۱,۲,\ldots,n \quad (۳)$$

$$w_j=\frac{\left(\prod_{j=۱}^{m} a_j\right)^{۱/m}}{\sum_{j=۱}^{m}\left(\prod_{j=۱}^{m} a_j\right)^{۱/m}}, j=۱,۲,\ldots,m \quad (۴)$$

وزن نهایی هر شاخص بر مبنای وزن معیارها نیز از رابطه‌ی ۵ حاصل می‌شود:

$$w_{endi}=w_i*w_j+\ldots+w_i*w_m$$

$w_i=$ وزن شاخص $i=۱,۲,\ldots,i \quad n=$ تعداد شاخص

$w_J=$ وزن معیار $j=۱,۲,\ldots,m \quad m=$ تعداد معیار

$w_{endi}=$ وزن نهایی شاخص $i$ (۵)

مقادیر وزن نهایی هر معیار حاصل از نظرسنجی جمعی است و از رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌شود:

$$w'_j=\sqrt[k]{w_{j۱}*w_{j۲}*\cdots*w_{jk}} \quad (۶)$$

$w'_j=$ وزن نهایی معیار $j$ بر مبنای نظر تجمعی خبرگان؛

$k=$ تعداد خبرگان؛

$w_{jk}=$ وزن نهایی معیار $j$ بر مبنای نظر خبره‌ی $k$ام.

وزن نهایی هر شاخص حاصل نظر تجمعی از رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌شود:

$$w'_{endi}=\sqrt[k]{w_{end۱}*w_{end۲}*\cdots*w_{endk}} \quad (۷)$$

$w'_{endi}=$ وزن نهایی شاخص $i$ بر مبنای نظر خبرگان.

با مقایسات زوجی دارایی‌ها توسط نرم‌افزار Super Decisions، نسخه ۲٫۸ (۲۰۱۵) اعداد مربوطه حاصل می‌شوند.[۲۱] در نهایت بردار ویژه‌ی وزن نهایی به‌صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{bmatrix} w'_{end\ ۱} \\ w'_{end\ ۲} \\ w'_{end\ ۳} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w'_{end\ n} \end{bmatrix} \quad (۸)$$

برای تهیه‌ی پرسش‌نامه‌ی خبره از مقایسات زوجی دارایی‌های شناسایی شده استفاده شد. برای امتیازدهی از مقیاس نه درجه ساعتی (بنیان‌گذار AHP) به‌صورت جدول ۱ استفاده شد.[۲۲]

## ۴. نحوه‌ی جمع‌آوری داده‌ها

در گردآوری اطلاعات و داده‌ها به‌ترتیب از مراجع ذی‌ربط زیر کمک گرفته شد. مرکز مطالعات پدافند غیرعامل کشور و مدیریت بحران، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، شرکت‌های آب منطقه‌یی تهران، شرکت مدیریت منابع آب ایران، مؤسسه‌ی تحقیقات آب، شرکت ساختمان سد و تأسیسات آب‌یاری (سابیر)، شرکت مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب، شرکت توسعه‌ی منابع آب و نیروی ایران، گروه پدافند غیرعامل و سازه‌های دفاعی دانشگاه صنعتی مالک اشتر. در اولویت نخست به دلیل ماهیت موضوع، از روش توزیع قالب پرسش‌نامه‌ی خبره، بین افراد واجد شرایط برای تکمیل ماتریس زوجی AHP استفاده شد.

جدول ۱. عدد ارجحیت.[۲۰]

| ارزش | وضعیت | توضیح |
|---|---|---|
| ۱ | ترجیح یکسان | شاخص‌های $i$ و $j$ اهمیت برابر دارند یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند. |
| ۳ | کمی مرجح | گزینه یا شاخص $i$ نسبت به $j$ کمی مهمتر است. |
| ۵ | خیلی مرجح | گزینه یا شاخص $i$ نسبت به $j$ مهمتر است. |
| ۷ | خیلی زیاد مرجح | گزینه‌ی $i$ دارای ارجحیت خیلی بیشتری از $j$ است. |
| ۹ | کاملا مرجح | گزینه‌ی $i$ از $j$ مطلقاً مهمتر است و قابل مقایسه با $j$ نیست. |
| ۶-۴-۲ | بینابین | ارزش‌های بینابین را نشان می‌دهد مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی زیادتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ است. |

## ۵. ویژگی‌های افراد برای پرکردن ماتریس زوجی

در این پژوهش طبق نکات ذکر شده از روش نمونه‌گیری غیرتصادفی هدفمند (از پیش تعیین شده) از نوع نمونه‌گیری ساده استفاده شده است. در پژوهش حاضر افرادی که توانایی پرکردن ماتریس زوجی تدوین شده را دارند و در واقع در طبقات سهمیه‌یی نحوه‌ی نمونه‌گیری انتخاب شدند، دارای شرایط زیر بودند:

۱. کارشناسی، کارشناسی ارشد یا دکترای عمران با سابقه فعالیت در حوزه‌ی پدافند غیرعامل و مدیریت بحران؛

۲. کارشناسی، کارشناسی ارشد یا دکترای عمران باسابقه فعالیت در حوزه‌ی آب، تصفیه‌خانه‌ها، سد و شبکه، سازه‌های هیدرولیکی، مدیریت ساخت، مطالعات اجتماعی، مطالعات زیست‌محیطی، مطالعات اقتصادی؛

۳. افراد باتجربه‌ی بالا و سابقه‌ی تحقیقات در زمینه‌ی مربوط؛

۴. مدیران رده‌های اجرایی در زمینه‌ی پدافند غیرعامل، مدیریت بحران و صنعت مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی.

برای تعیین تعداد افراد روش AHP قاعده کلی را تعریف نکرده است؛ اما کیفیت را نسبت به کمیت در اولویت قرار داده است.[۱۹] در این پژوهش تعداد افراد خبره‌ی شناسایی شده با ویژگی‌های تعریف شده ۴۲ نفر بودند. در تحلیل سلسله‌مراتبی، پرسش‌نامه آمار ریاضی نیست بلکه مقایسه زوجی است که به‌عنوان جامعه‌ی آماری محسوب نمی‌شود. برای منطقی بودن پاسخ سؤال شونده از نرخ ناسازگاری استفاده شده است و پایایی و روایی معنی ندارد. چنانچه نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، پاسخ منطقی خواهد بود و چنانچه نرخ سازگاری بیشتر باشد، باید دوباره ماتریس سؤالات برای اظهار نظر مجدد به او فرستاده شود یا پاسخ او حذف شود. تقسیم‌بندی درجات علمی کارشناسان خبره به‌صورت جدول ۲ بوده است.

جدول ۲. افراد مورد پرسش قرارگرفته از نظر تحصیلات.

| عنوان مدرک | تعداد |
|---|---|
| کارشناسی | ۲۲ |
| کارشناسی ارشد | ۱۳ |
| دکترا | ۷ |

جدول ۳. دارایی‌های مهم تأسیسات آب‌رسانی شهر تهران بر طبق نظر خبرگان.

| حرف اسمی | نوع دارایی |
|---|---|
| S۱ | سد امیرکبیر |
| S۲ | سد طالقان |
| S۳ | سد لتیان |
| S۴ | سد لار |
| S۵ | سد ماملو |
| S۶ | سد نمرود |
| S۷ | سد زیارت |
| S۸ | سد شهید غفوری |
| A | چاه، چشمه‌ها، رودخانه‌ها |
| T۱ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۱ (جلالیه) |
| T۲ | تصفیه خانه‌ی شماره ۲ (کن) |
| T۳ | تصفیه‌خانه‌ی شماره (۳و۴) |
| T۴ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۵ |
| T۵ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۶ |
| T۶ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۷ (سوهانک) |
| T۷ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب صاحبقرانیه |
| T۸ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب محلاتی |
| T۹ | تصفیه‌خانه‌ی فضلاب زرگنده |
| T۱۰ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب قیطریه |
| T۱۱ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهرک قدس |
| T۱۲ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شوش |
| T۱۳ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب اکباتان |
| D | تلمبه‌خانه‌ها |
| M | مخازن ذخیره |
| K | شبکه‌ی توزیع آب |

## ۶. فرایند مدیریت ریسک تأسیسات آب‌رسانی شهر تهران با روش تلفیقی RAMCAP و AHP

### ۱.۶. دارایی و معیارهای ارزیابی دارایی

در این مرحله با تحقیق میدانی و مصاحبه و نظرکارشناسی افراد ذی‌ربط و استفاده از راهنمایی‌های روش RAMCAP مهم‌ترین دارایی تأسیسات آب‌رسانی مشخص شد. فهرست کامل این دارایی‌ها در جدول ۳ آمده است. سه معیار ارزش اقتصادی، ارزش عملکردی و منحصربه فرد بودن به‌عنوان معیارهای ارزیابی درنظرگرفته شده‌اند. معیارها و شاخص‌های ارزیابی دارایی عبارت‌اند از:

الف) ارزش اقتصادی: منظور از ارزش اقتصادی، همان ارزش ریالی دارایی است و بر اساس نظرات کارشناسان امر و با تکیه‌بر تجربه‌ی کارشناسی محققان قابل ارزش‌گذاری است.

جدول ۴. معیارهای شاخص اثرات هم‌افزا.[۲۴]

| معیار | امتیاز |
|---|---|
| در مجاورت جزء موردنظر انبار تسلیحات و موارد مشابه وجود دارد. | ۱۰-۹ |
| در مجاورت جزء موردنظر دکل‌های مخابراتی وجود دارد. | ۸-۷ |
| در مجاورت جزء موردنظر مراکز جمعیتی، صنایع مهم و تأسیسات زیربنایی وجود دارد. | ۶-۵ |
| در مجاورت جزء موردنظر خطوط راه‌آهن، راه‌های اصلی و خطوط انتقال نفت و گاز وجود دارد. | ۴-۳ |
| تأسیسات خاصی در نزدیکی جزء موردنظر وجود ندارد. | ۲-۱ |

ب) ارزش عملکردی: ارزش عملکردی یک دارایی حیاتی، به تأثیرات و نقش آن دارایی در یک مجموعه و نیز نقش آن در یک سامانه گفته می‌شود. در این عبارت مجموعه به بخشی از یک سامانه که دارای بخش‌های مختلفی باشد اطلاق می‌شود. امتیازدهی برای این ارزش مشابه با ارزش اقتصادی صورت می‌گیرد.

ج) منحصربه‌فرد بودن: منظور از منحصربه‌فرد بودن این است که تا چه اندازه یک دارایی از لحاظ تجهیزات و نوع ساخت و طراحی وابسته به عوامل بیرونی کشور است؛ به عبارت دیگر، در صورت فقدان یک دارایی خاص تا چه میزانی امکان جایگزینی یا بهره‌برداری مجدد از آن دارایی وجود دارد و نیز زمان این جایگزینی و ترمیم چقدر است. امتیازگذاری برای این ارزش مشابه با ارزش‌های قبلی صورت می‌گیرد.

در ادامه برای به دست آوردن عدد ارزش دارایی به‌صورت کمّی از روش AHP با مدل‌سازی در نرم‌افزار Super Decisions نسخه ۲٫۸ (۲۰۱۵) استفاده شد. در ابتدا پرسش‌نامه‌یی مبتنی‌بر روش RAMCAP بر اساس سه معیار گفته شده طراحی شد و در بین خبرگان ذی‌ربط توزیع و نظرات جمع‌آوری شد. برای به دست آوردن عدد ارزش و نیز اولویت‌بندی هر یک از دارایی‌ها، داده‌های ماتریس زوجی برای مدل‌سازی به روش AHP وارد نرم‌افزار Super Decisions نسخه ۲٫۸ شد.

## ۲.۶. تهدیدات و معیارهای ارزیابی تهدیدات

بر اساس روش پژوهش و طبق نظر خبرگان سه معیار اصلی، برای ارزیابی گزینه‌های تهدیدات معرفی شد. شدت خسارت، سابقه‌ی تهدید، توانایی دشمن.

طبق نظر خبرگان و مطالعات میدانی و کتابخانه‌یی و استفاده از راهنمایی‌های روش RAMCAP، تهدیداتی که در چارچوب موضوع پژوهش شناسایی و به مرحله‌ی تأیید رسید، شامل ۱۲ تهدید بود که در جدول ۷ مشاهده می‌شود.

## ۳.۶. ارزیابی آسیب‌پذیری دارایی‌ها

برای تخمین آسیب‌پذیری، روش RAMCAP از معیارهای R[۱۱]، E[۱۲]، V[۱۳]، R[۱۴]، A[۱۵]، C[۱۶] استفاده می‌کند.[۲۲و۲۳] این معیارها عبارت‌اند از:

۱. معیارهای شاخص قابلیت کشف و شناسایی:
کدام هدف به سهولت در همه‌ی شرایط از فاصله‌ی دور قابل‌شناسایی است؟

۲. معیارهای شاخص قابلیت دسترسی به هدف:
دسترسی به کدام هدف به سهولت ممکن است؟

۳. معیارهای شاخص ضعف بخش:
کدام هدف در برابر همه‌ی تسلیحات به‌شدت آسیب‌پذیر است؟

۴. معیارهای شاخص قابلیت بازسازی:
جایگزینی، تعمیر و مرمت کدام دارایی زمان بیشتری نیاز دارد؟

۵. معیارهای شاخص آسیب‌های ثانویه:
کدام دارایی میزان تأثیرات کامل سراسری در تولید برق، آب و تهدید جانی بیشتری دارد؟

۶. معیار ۶ در جدول ۴ آورده شده است.
جدول ۴ معیار ششم ارزیابی آسیب‌پذیریی را نشان می‌دهد و نشان می‌دهد که کدام دارایی در صورت آسیب باعث تشدید بیشتر خرابی در تأسیسات آب و فاضلاب می‌شود.

در ادامه برای به دست آوردن عدد ارزش، داده‌های ماتریس زوجی برای مدل‌سازی به روش AHP، وارد نرم‌افزار Super Decisions شد.

## ۴.۶. ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک گام عملیاتی روش پژوهش حاضر است که نتایج پنج گام قبلی (شناسایی دارایی، تشخیص تهدید، تجزیه و تحلیل دارایی، تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری و ارزیابی تهدید) این روش را ادغام می‌کند. چارچوب RAMCAP، مطابق با طرح حفاظت از زیرساخت‌های ملی، با ضرب اعداد ارزش دارایی، آسیب‌پذیری، تهدید احتمالی، ریسک را تعریف می‌کند:[۲۳]

ریسک = ارزش دارایی × آسیب‌پذیری × تهدید.

برای به دست آوردن عدد ریسک که از نتایج آن برای تحلیل نهایی ریسک دارایی‌ها و همچنین بخش مدیریت ریسک کمک گرفته شد؛ بر طبق روش RAMCAP برای هر تهدید جداولی تشکیل شد که هر دارایی بر اساس عدد ارزش دارایی و عدد آسیب‌پذیری آن، بر طبق هرکدام از اعداد تهدید نهایتاً یک بردار ویژه‌ی ریسک دارد که این بردار ویژه از ضرب اعداد، عدد دارایی در عدد آسیب‌پذیری و عدد تهدید مربوط به هر جدول حاصل شد. به دلیل وجود ۱۲ تهدید در این حوزه ۱۲ بردار ویژه‌ی ریسک به دست آمد. برای هر دارایی بردار ویژه‌ی ریسک تشکیل شد. در بردار ویژه‌ی ریسک با داشتن اعداد ارزش دارایی، تهدید و آسیب‌پذیری که از بخش‌های پیشین به دست آمده بود، عدد نهایی ریسک به دست آمد. تمام محاسبات مربوط به این بخش در نرم‌افزار Excel انجام شد. در پایان از کنار هم قرار دادن بردارهای ویژه، ماتریس نهایی ریسک به دست آمد. اعداد ریسک به دست آمده حامل نتایج مفهومی مفیدی هستند، اما باید مشخص شود که بالا یا پایین بودن اعداد ریسک به چه معنی است که در این‌جا به وجود مقیاسی برای تفسیر اعداد ریسک نیاز است. این مقیاس در سند شماره ۴۵۲ مربوط به آژانس مدیریت شرایط اضطراری ایالات متحده آمریکا موجود است؛ اما به علت این‌که مقیاس ارائه شده در آن سند با توجه به تهدیدات مبنای کشور ایالات متحده امریکاست طبیعتاً نمی‌تواند مقیاس صحیح و قابل استنادی برای تهدیدات حوزه‌ی این پژوهش باشد. زیرا پژوهش حاضر برای زیرساخت‌های تأسیسات آب‌رسانی در کشور جمهوری

اسلامی ایران انجام شده است که ماهیت تهدیدات مؤثر بر آن‌ها متفاوت است. پس به مقیاسی بومی که قابلیت استناد داشته باشد نیاز پیدا می‌کنیم.

## ۷. نتایج و بحث

### ۱.۷. نتایج مقایسات زوجی دارایی‌ها بر اساس معیارها

نتایج مقایسات زوجی معیارها وگزینه‌ها براساس هرکدام از معیارها به‌صورت نرمال شده به‌ترتیب در جدول‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود. نتایجی که در جدول ۵ برای وزن معیارها حاصل شده است، بیان‌گر اهمیت بیشتر ارزش عملکردی بر طبق نظر

جدول ۵. بردار ویژه‌ی نتایج مقایسات زوجی معیارهای ارزش دارایی.

| | |
|---|---|
| ۰٫۱۰۴۷۲۹۳۹۴ | ارزش اقتصادی |
| ۰٫۶۳۶۹۸۵۵۳۹ | ارزش عملکردی |
| ۰٫۲۵۸۲۸۵۰۶۷ | منحصربه‌فرد بودن |

جدول ۶. ارزش هر یک از دارایی‌ها.

| عدد | شاخص‌ها |
|---|---|
| ۰٫۴۱۵۱ | چاه‌ها، چشمه‌ها، رودخانه‌ها |
| ۰٫۰۹۳۲ | تلمبه‌خانه‌ها |
| ۰٫۰۳۱۲ | شبکه‌ی توزیع آب |
| ۰٫۰۳۱۰ | مخازن ذخیره |
| ۰٫۹۲۰۰ | سد امیرکبیر |
| ۰٫۷۵۰۷ | سد طالقان |
| ۱٫۰۰۰۰ | سد لتیان |
| ۰٫۶۰۳۹ | سد لار |
| ۰٫۴۹۲۰ | سد ماملو |
| ۰٫۳۹۹۷ | سد نمرود |
| ۰٫۲۹۴۷ | سد زیارت |
| ۰٫۳۴۰۱ | سد شهید غفوری |
| ۰٫۰۴۵۲ | تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ (جلالیه) |
| ۰٫۰۶۴۵ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۲ (کن) |
| ۰٫۰۳۴۸ | تصفیه‌خانه‌های شماره (۳و۴) |
| ۰٫۰۳۹۵ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۵ |
| ۰٫۰۷۱۲ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۶ |
| ۰٫۰۵۳۲ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۷ (سوهانک) |
| ۰٫۱۰۲۵ | تصفیه‌ی فاضلاب صاحبقرانیه |
| ۰٫۱۴۹۲ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب محلاتی |
| ۰٫۱۲۳۳ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب زرگنده |
| ۰٫۰۸۶۵ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب قیطریه |
| ۰٫۲۵۲۵ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهرک قدس |
| ۰٫۱۶۸۳ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شوش |
| ۰٫۲۰۶۲ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب اکباتان |

کارشناسی برای تعیین ارزش دارایی نسبت به دو معیار دیگر است. این نتایج حاصل محاسبات انجام گرفته با روابط ۱ تا ۷ است.

با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۶، سد لتیان از لحاظ ارزش دارایی بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی دارایی‌ها بر مبنای معیارهای ارزش اقتصادی، ارزش عملکردی و منحصربه‌فرد بودن با عدد ارزش دارایی ۱ در رتبه‌ی نخست است و باارزش‌ترین دارایی در این مرحله انتخاب شد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود شبکه‌ی توزیع آب و مخازن ذخیره با عدد ارزش دارایی به ترتیب ۰٫۰۳۱۲ و ۰٫۰۳۱۰ بر مبنای سه معیار ارزش اقتصادی، ارزش عملکردی، منحصربه‌فرد بودن در رده‌های آخر این ارزش‌گذاری قرار گرفتند. عدد ناسازگاری مقایسات زوجی ارزش دارایی‌ها بر اساس معیارها ۰٫۰۳۷ به دست آمد که نشان می‌دهد نتایج ماتریس زوجی قابل قبول است.

### ۲.۷. نتایج مقایسات زوجی تهدیدات بر اساس معیارها

بر طبق نظر خبرگان و مطالعات میدانی وکتابخانه‌یی و استفاده از راهنمایی‌های روش RAMCAP، تهدیداتی که در چارچوب موضوع پژوهش شناسایی و تأیید شد، شامل ۱۲ تهدید بود که در جدول ۷ مشاهده می‌شود. عدد ناسازگاری مقایسات زوجی ارزش تهدیدات‌ها بر اساس معیارها ۰٫۰۵ به دست آمد که پاسخ‌های ماتریس زوجی قابل قبول است.

در ادامه برای به دست آوردن عدد تهدید، داده‌های ماتریس زوجی برای مدل‌سازی به روش AHP وارد نرم‌افزار Super Decisions نسخه‌ی ۲٫۸ (۲۰۱۵) شد. نتایج زیر حاصل تحلیل نرم‌افزاری داده‌هاست. نتایج مقایسات زوجی معیارها و تهدیدات بر اساس هرکدام از معیارها به‌صورت نرمال شده به‌ترتیب در جدول‌های ۸ و ۹ مشاهده می‌شود. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد معیار شدت خسارت برای تعیین عدد نهایی هر تهدید بیشترین تأثیر را دارد.

بر طبق نتایج به دست آمده در جدول ۹ حملات شیمیایی، میکروبی و هسته‌یی با عدد تهدید ۱ در اولویت نخست آسیب‌رسانی به تأسیسات آب‌رسانی بر اساس معیارهای شدت خسارت، توانایی دشمن و سابقه تهدید است. همچنین حمله‌ی موشکی در ردیف دوم و زلزله در ردیف سوم و حمله‌ی میکروبی در ردیف چهارم تهدیدات قرار دارد.

### ۳.۷. نتایج مقایسات زوجی آسیب‌پذیری دارایی‌ها بر اساس معیارها

نتایج مقایسات زوجی معیارها و آسیب‌پذیری دارایی‌ها بر اساس هرکدام از معیارها به‌ترتیب در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود. نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد معیارهای شاخص آسیب‌های ثانویه بیشترین تأثیر در محاسبه‌ی عدد نهایی آسیب‌پذیری مربوط به هر دارایی را دارد.

اعداد مربوط به معیارها در تعیین عدد نهایی مربوط به آسیب‌پذیری هر یک از دارایی‌ها به‌صورت مستقیم تأثیر دارند.

### ۴.۷. ارزیابی ریسک

در این بخش نتایج حاصل از ارزیابی ریسک با توجه به روش پژوهش محاسبه شد و در نهایت نتیجه‌گیری‌ها صورت گرفت. جدول ۱۲ محدوده‌ی تعریف شده برای ریسک است؛ عدد ناسازگاری مقایسات زوجی ارزش آسیب‌پذیری بر اساس معیارها ۰٫۰۱ به دست آمد که نشان می‌دهد نتایج ماتریس زوجی قابل قبول است.

جدول ۷. تهدیدات شناسایی شده طبق نظر خبرگان در چارچوب روش RAMCA.

| تهدیدات | حروف اسمی |
|---|---|
| حملات هوایی و موشکی | Airborne and missile attacks |
| حملات شیمیایی، میکروبی، هسته‌یی | Chemical, microbial, nuclear attacks |
| خرابکاری فنی | Technical vandalism |
| حملات با بمب‌های الکترومغناطیسی، گرافیتی، صوتی | Attacks with electromagnetic bombs, graffiti, and sound |
| جاسوسی و نفوذ انسانی | Spy and human penetration |
| تهدید به بمب‌گذاری و اعمال آن | Threat to bombing and its actions |
| تحریم اقتصادی، عملیات روانی | Economic sanctions, psychological operations |
| تهدیدات زیستی | Biological threats |
| سایبر تروریسم | Cyber Terrorism |
| تظاهرات ناآرام، آشوب، اغتشاش | Unrest, turbulence, turbulence |
| حملات انتحاری و محموله‌های انفجاری کنترل از راه دور | Suicide attacks and remote control explosives shipments |
| حملات دریایی، حملات منظم زمینی (توپخانه، منظم پیاده و...) | Marine attacks, regular land attacks (artillery, regular walking, etc |

با توجه به ۱۲ تهدید و نحوه‌ی محاسبه‌ی ریسک به روش پژوهش نتایج جدول ۱۳ حاصل شد.

جدول ۱۳ نتایج کلی ریسک هر دارایی ناشی از هر یک از تهدیدات را به‌صورت ماتریس بیان می‌کند. تجزیه و تحلیل این ماتریس به‌صورت هم‌زمان برای همه‌ی تهدیدات، در قالب محدوده ریسک تعریف شده است و به‌صورت جدول ۱۲ از

جدول ۸. ماتریس مقایسات زوجی معیارهای ارزیابی تهدیدات.

| | |
|---|---|
| شدت خسارت | ۰٫۷۷۳۱۷۱۲۶ |
| توانایی دشمن | ۰٫۱۳۹۱۶۲۱۰۶ |
| سابقه تهدید | ۰٫۰۸۷۶۶۶۶۳۴ |

جدول ۹. اعداد تهدیدات.

| عدد | شاخص‌ها |
|---|---|
| ۰٫۸۹۲۹ | حملات هوایی و موشکی |
| ۰٫۲۳۱۵ | حملات با بمب‌های الکترومغناطیسی، گرافیتی، صوتی |
| ۰٫۶۸۲۶ | تهدیدات زیستی |
| ۱٫۰۰۰۰ | حملات شیمیایی، میکروبی، هسته‌یی |
| ۰٫۴۰۱۹ | سایبر تروریسم |
| ۰٫۳۵۷۶ | تحریم اقتصادی، عملیات روانی |
| ۰٫۸۱۴۳ | حملات دریایی، حملات منظم زمینی |
| ۰٫۰۷۷۴ | جاسوسی و نفوذ انسان |
| ۰٫۲۱۲۱ | حملات انتحاری و محموله‌های انفجاری کنترل از راه دور |
| ۰٫۱۲۹۵ | خرابکاری فنی |
| ۰٫۳۹۷۱ | تهدید به بمب گذاری و اعمال آن |
| ۰٫۰۹۱۴ | تظاهرات ناآرام، آشوب، اغتشاش |

جدول ۱۰. ماتریس مقایسات زوجی معیارها.

| | |
|---|---|
| A۱ | ۰٫۰۴۲۸۱۲۸۲۲ |
| A۲ | ۰٫۱۵۹۵۸۰۲۶۵ |
| A۳ | ۰٫۲۵۰۴۰۱۷۴۹ |
| A۴ | ۰٫۱۰۰۶۳۰۲۹۳ |
| A۵ | ۰٫۳۸۲۴۹۷۴۷۳ |
| A۶ | ۰٫۰۶۴۰۷۷۳۹۹ |

لحاظ کمّی و کیفی قابل رتبه‌بندی هستند: بر این مبنا با توجه به جدول ۱۲ براساس محدوده‌ی کمّی و کیفی جدول ماتریس ریسک از لحاظ کیفی هم تجزیه و تحلیل شد. اعداد ریسکی که در ماتریس ریسک با رنگ قرمز تیره و رنگ سبز مشخص شده‌اند به‌ترتیب دارای بالاترین و کمترین عدد ریسک ناشی از تهدیدات هستند. سایر رنگ‌ها نیز در جدول به‌صورت کمّی و کیفی معرفی شدند. از نظر ریسک آسیب‌پذیری در برابر حمله شیمیایی، میکروبی و هسته‌یی سد لتیان با عدد ریسک ۰٫۹۳ آسیب‌پذیرترین عضو تأسیسات آب و فاضلاب است و سد امیرکبیر با عدد ریسک ۰٫۸۳۵۸ در ردیف دوم و سد طالقان با عدد ریسک ۰٫۸۳۵۸ در ردیف سوم آسیب قرار دارند. چنانچه به نتایج حملات هوایی و موشکی در جدول ۱۳ توجه شود باز سد لتیان در مقام نخست با عدد ریسک ۰٫۸۳۱۳ و سد امیرکبیر با عدد ریسک ۰٫۷۴۵۸ در ردیف دوم و سد طالقان با عدد ریسک ۰٫۵۶۲۹ در ردیف سوم آسیب‌پذیری قرار دارند.

یزدانی و همکاران در سال ۲۰۱۱ اصلاحاتی روی RAMCAP انجام داده‌اند و با معرفی پارامترهای جدید که روی ریسک اثر می‌گذارد و از روش فازی COPRAS استفاده کرده‌اند که با تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ی فازی وزن هر شاخص و اهمیت آن را مشخص کرده‌اند و مدل را با مطالعه‌ی موردی تأسیسات خط آهن ارزیابی کرده‌اند و

جدول ۱۱. عدد آسیب‌پذیری دارایی‌ها.

| عدد | شاخص‌ها |
|---|---|
| ۰٫۸۰۴۱ | چاه‌ها، چشمه‌ها، رودخانه‌ها |
| ۰٫۴۴۹۹ | تلمبه‌خانه‌ها |
| ۰٫۰۷۴۰ | شبکه‌ی توزیع آب |
| ۰٫۱۵۵۲ | مخازن ذخیره |
| ۰٫۹۰۷۹ | سد امیرکبیر |
| ۰٫۸۳۹۸ | سد طالقان |
| ۰٫۹۳۱ | سد لتیان |
| ۰٫۶۷۰۸ | سد لار |
| ۰٫۵۹۵۹ | سد ماملو |
| ۰٫۵۶۶۸ | سد نمرود |
| ۰٫۵۹۱۶ | سد زیارت |
| ۰٫۵۶۵۵ | سد شهید غفوری |
| ۰٫۳۶۰۶ | تصفیه‌خانه‌ی شماره‌ی ۱ (جلالیه) |
| ۰٫۳۱۸۸ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۲ (کن) |
| ۰٫۴۵۵۵ | تصفیه‌خانه‌های شماره (۳و۴) |
| ۰٫۴۱۰۰ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۵ |
| ۰٫۳۰۶۸ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۶ |
| ۰٫۳۴۰۳ | تصفیه‌خانه‌ی شماره ۷ (سوهانک) |
| ۰٫۲۹۱۴ | تصفیه‌ی فاضلاب صاحبقرانیه |
| ۰٫۳۰۸۶ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب محلاتی |
| ۰٫۲۷۳۴ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب زرگنده |
| ۰٫۲۸۶۴ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب قیطریه |
| ۰٫۳۹۴۲ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شهرک قدس |
| ۰٫۳۲۷۳ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب شوش |
| ۰٫۳۶۰۱ | تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب اکباتان |

جدول ۱۲. محدوده‌ی ریسک.

| محدوده ریسک | تعریف کیفی |
|---|---|
| >۰/۱۹ | خیلی زیاد |
| ۰/۰۲۴-۰/۱۹ | زیاد |
| ۰/۰۰۴۲-۰/۰۲۴ | متوسط |
| ۰-۰/۰۰۴۲ | کم |

با نتایج RAMCAP مقایسه کرده‌اند. تفاوت این کار با پژوهش حاضر در این است که در اینجا RAMCAP با AHP تلفیق شده و علاوه بر ارزیابی ریسک ناشی از حملات مختلف ارزش دارایی‌ها و منحصربه‌فرد بودن تأسیسات آب و فاضلاب تهران نیز تعیین شده است.[۲۳]

علی‌دوستی و همکاران در سال ۲۰۱۲ بیان کردند که RAMCAP به تنهایی قادر نیست عدم قطعیت را محاسبه کند، پس آنها روش فازی را با RAMCAP تلفیق کردند وتحلیل ریسک انجام دادند؛ مطالعه‌ی موردی آنها خط لوله‌ی نفت و اطلاعات اخذ شده از انستیتوی نفت امریکا و انجمن ملی پتروشیمی و پالایشگاه در سال ۲۰۰۴ بود.[۲۴] تفاوت پژوهش حاضر با آن اولاً در این است که از تلفیق RAMCAP در این کار تأسیسات آب و فاضلاب تهران مطالعه شد و نیز ارزش دارایی و منحصربه‌فرد بودن آن نیز تحلیل شد.

روزبهانی و همکاران در سال ۲۰۱۳ ریسک منابع آب شهر ارومیه را با استفاده از روش سلسله‌مراتبی فازی و استفاده از تلفیق نظرات ۲۰ نفر متخصص موضوع و گزارش مهندسی در اختیار با نظریه‌ی Dempster-Shafer ارزیابی کردند.[۲۵] تفاوت کار آنان با پژوهش حاضر این است که این‌جا از راهنمای RAMCAP و پر کردن ماتریس زوجی توسط متخصصان از همه‌ی رده‌ها چه منابع آب و چه نظامی و اولویت‌بندی خطرات با استفاده از روش AHP استفاده شده و نیز ارزش دارایی‌ها و منحصربه‌فرد بودن آنها هم به دست آمده است.

نخعی و همکاران در سال ۱۳۹۶ ریسک سامانه‌ی آب‌رسانی شهری را با استفاده از RAMCAP به دست آوردند. ولی محل مشخصی از ایران که این روش در آن آزموده شده باشد، مشخص نکرده‌اند.[۱۴] تفاوت این پژوهش با پژوهش آنها در این است که اولاً در مطالعه‌ی حاضر RAMCAP و AHP تلفیق شده‌اند به‌علاوه ارزیابی ارزش دارایی‌ها و منحصربه‌فرد بودن دارایی‌ها نیز ارزیابی شده است.

علاوه‌بر روش‌های RAMCAP و تلفیق فازی RAMCAP یا تلفیق AHP و RAMCAP و فازی درخت خطا برای محاسبه‌ی آسیب‌پذیری شبکه در برابر حمله‌ی احتمالی به زیرساخت یک کشور مدل‌های شبیه‌سازی شبکه‌ی دیگری در دسترس است. مثلاً بابیک درسال ۲۰۰۹ مدلی با عنوان مدل طرح ـ حمله ـ دفاع[۱۷] پیشنهاد داد. این مدل را برای شبکه‌ی خط آهن غرب آمریکا آزمود. او در این مدل با توجه به محدودیت بودجه‌ی مدل، ابتدا آثار بدترین حمله را در نظر گرفت و بعد مشخص کرد که چه دفاعی یا زیر ساخت اضافی لازم است تا زیر ساخت حداکثر تحمل در دفاع را داشته باشد.[۲۶]

## ۸. نتیجه‌گیری

نتایج مهم این مطالعه به قرار زیر است:

بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی، دارایی سد لتیان بر مبنای معیارهای ارزش اقتصادی، ارزش عملکردی و منحصربه‌فرد بودن با دارا بودن عدد ارزش دارایی ۰٫۹۳ و قرارگرفتن در رتبه‌ی نخست دارایی‌ها به‌عنوان با ارزش‌ترین دارایی انتخاب شد. در ردیف دوم و سوم سد امیرکبیر وسد طالقان با اعداد ارزش دارایی ۰٫۹۰۷۹ و ۰٫۸۳۹۸ قرار گرفتند.

بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی تهدیدات، حملات شیمیایی، میکروبی و هسته‌یی بر مبنای معیارهای شدت خسارت، سابقه‌ی تهدید و توانایی دشمن با دارا بودن عدد تهدید ۱ در اولویت نخست آسیب رساندن به اجزای اصلی سامانه‌ی آب‌رسانی شهر تهران قرار گرفت.

جدول ۱۳. ماتریس ریسک نهایی.

| | تظاهرات ناآرام، آشوب، اغتشاش | تهدید به بمب گذاری و اعمال آن | خرابکاری فنی | حملات انتحاری و محموله‌های انفجاری کنترل از راه دور | جاسوسی و نفوذ انسانی | حملات دریایی، حملات منظم زمینی (توپخانه ، منظم پیاده و ...) | تحریم اقتصادی، عملیات روانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| چاه ها، چشمه ها، رودخانه ها | ۰,۰۳۰۵۰۸ | ۰,۱۳۲۵۴۵ | ۰,۰۴۳۲۲۵ | ۰,۰۷۰۷۹۵ | ۰,۰۲۵۸۳۵ | ۰,۲۷۱۷۹۹ | ۰,۱۱۹۳۶ |
| تلمبه خانه ها | ۰,۰۰۳۸۳۲ | ۰,۰۱۶۶۵۱ | ۰,۰۰۵۴۳ | ۰,۰۰۸۸۹۳ | ۰,۰۰۳۲۴۵ | ۰,۰۳۴۱۴۴ | ۰,۰۱۴۹۹۴ |
| شبکه توزیع آب | ۰,۰۰۰۲۱۱ | ۰,۰۰۰۹۱۷ | ۰,۰۰۰۲۹۹ | ۰,۰۰۰۴۹ | ۰,۰۰۰۱۷۹ | ۰,۰۰۱۸۸ | ۰,۰۰۰۸۲۶ |
| مخازن ذخیره | ۰,۰۰۰۴۴ | ۰,۰۰۱۹۱۱ | ۰,۰۰۰۶۲۳ | ۰,۰۰۱۰۲ | ۰,۰۰۰۳۷۲ | ۰,۰۰۳۹۱۸ | ۰,۰۰۱۷۲ |
| سد امیر کبیر | ۰,۰۷۶۳۴۳ | ۰,۳۳۱۶۸۵ | ۰,۱۰۸۱۶۷ | ۰,۱۷۷۱۶ | ۰,۰۶۴۶۵ | ۰,۶۸۰۱۵۹ | ۰,۲۹۸۶۹۲ |
| سد طالقان | ۰,۰۵۷۶۲۲ | ۰,۲۵۰۳۴۷ | ۰,۰۸۱۶۴۲ | ۰,۱۳۳۷۱۶ | ۰,۰۴۸۷۹۶ | ۰,۵۱۳۳۶۶ | ۰,۲۲۵۴۴۵ |
| سد لتیان | ۰,۰۸۵۰۹۳ | ۰,۳۶۹۷ | ۰,۱۲۰۵۶۵ | ۰,۱۹۷۴۶۵ | ۰,۰۷۲۰۵۹ | ۰,۷۵۸۱۱۳ | ۰,۳۳۲۹۲۶ |
| سد لار | ۰,۰۳۷۰۲۶ | ۰,۱۶۰۸۶۴ | ۰,۰۵۲۴۶ | ۰,۰۸۵۹۲۱ | ۰,۰۳۱۳۵۴ | ۰,۳۲۹۸۷ | ۰,۱۴۴۸۶۲ |
| سد ماملو | ۰,۰۲۶۷۹۷ | ۰,۱۱۶۴۲۳ | ۰,۰۳۷۹۶۷ | ۰,۰۶۲۱۸۴ | ۰,۰۲۲۶۹۲ | ۰,۲۳۸۷۳۹ | ۰,۱۰۴۸۴۲ |
| سد نمرود | ۰,۰۲۰۷۰۷ | ۰,۰۸۹۹۶۳ | ۰,۰۲۹۳۳۸ | ۰,۰۴۸۰۵۱ | ۰,۰۱۷۵۳۵ | ۰,۱۸۴۴۸ | ۰,۰۸۱۰۱۴ |
| سد زیارت | ۰,۰۱۵۹۳۵ | ۰,۰۶۹۲۳۲ | ۰,۰۲۲۵۷۸ | ۰,۰۳۶۹۷۸ | ۰,۰۱۳۴۹۴ | ۰,۱۴۱۹۶۹ | ۰,۰۶۲۳۴۶ |
| سد شهید غفوری | ۰,۰۱۷۵۷۹ | ۰,۰۷۶۳۷۳ | ۰,۰۲۴۹۰۶ | ۰,۰۴۰۷۹۲ | ۰,۰۱۴۸۸۶ | ۰,۱۵۶۶۱۲ | ۰,۰۶۸۷۷۶ |
| تصفیه خانه شماره یک (جلالیه) | ۰,۰۰۱۴۹ | ۰,۰۰۶۴۷۲ | ۰,۰۰۲۱۱۱ | ۰,۰۰۳۴۵۷ | ۰,۰۰۱۲۶۲ | ۰,۰۱۳۲۷۲ | ۰,۰۰۵۸۲۹ |
| تصفیه خانه شماره دو (کن) | ۰,۰۰۱۸۷۹ | ۰,۰۰۸۱۶۵ | ۰,۰۰۲۶۶۳ | ۰,۰۰۴۳۶۱ | ۰,۰۰۱۵۹۲ | ۰,۰۱۶۷۴۴ | ۰,۰۰۷۳۵۳ |
| تصفیه خانه شماره (۳و ۴) | ۰,۰۰۱۴۴۹ | ۰,۰۰۶۲۹۵ | ۰,۰۰۲۰۵۳ | ۰,۰۰۳۳۶۲ | ۰,۰۰۱۲۲۷ | ۰,۰۱۲۹۰۸ | ۰,۰۰۵۶۶۸ |
| تصفیه خانه شماره پنج | ۰,۰۰۱۴۸ | ۰,۰۰۶۴۳۱ | ۰,۰۰۲۰۹۷ | ۰,۰۰۳۴۳۵ | ۰,۰۰۱۲۵۳ | ۰,۰۱۳۱۸۸ | ۰,۰۰۵۷۹۱ |
| تصفیه خانه شماره شش | ۰,۰۰۱۹۹۷ | ۰,۰۰۸۶۷۴ | ۰,۰۰۲۸۲۹ | ۰,۰۰۴۶۳۳ | ۰,۰۰۱۶۹۱ | ۰,۰۱۷۷۸۸ | ۰,۰۰۷۸۱۱ |
| تصفیه خانه شماره هفت (سوهانک) | ۰,۰۰۱۶۵۵ | ۰,۰۰۷۱۸۹ | ۰,۰۰۲۳۴۴ | ۰,۰۰۳۸۴ | ۰,۰۰۱۴۰۱ | ۰,۰۱۴۷۴۲ | ۰,۰۰۶۴۷۴ |
| تصفیه خانه فاضلاب صاحبقرانیه | ۰,۰۰۲۷۳ | ۰,۰۱۱۸۶۱ | ۰,۰۰۳۸۶۸ | ۰,۰۰۶۳۳۵ | ۰,۰۰۲۳۱۲ | ۰,۰۲۴۳۲۲ | ۰,۰۱۰۶۸۱ |
| تصفیه خانه فاضلاب محلاتی | ۰,۰۰۴۲۰۸ | ۰,۰۱۸۲۸۴ | ۰,۰۰۵۹۶۳ | ۰,۰۰۹۷۶۶ | ۰,۰۰۳۵۶۴ | ۰,۰۳۷۴۹۳ | ۰,۰۱۶۴۶۵ |
| تصفیه خانه فاضلاب زرگنده | ۰,۰۰۳۰۸۱ | ۰,۰۱۳۳۸۶ | ۰,۰۰۴۳۶۵ | ۰,۰۰۷۱۵ | ۰,۰۰۲۶۰۹ | ۰,۰۲۷۴۵ | ۰,۰۱۲۰۵۵ |
| تصفیه خانه فاضلاب قیطریه | ۰,۰۰۲۲۶۴ | ۰,۰۰۹۸۳۸ | ۰,۰۰۳۲۰۸ | ۰,۰۰۵۲۵۴ | ۰,۰۰۱۹۱۷ | ۰,۰۲۰۱۷۳ | ۰,۰۰۸۸۵۹ |
| تصفیه خانه فاضلاب شهرک قدس | ۰,۰۰۹۰۹۸ | ۰,۰۳۹۵۲۶ | ۰,۰۱۲۸۹ | ۰,۰۲۱۱۱۱ | ۰,۰۰۷۷۰۴ | ۰,۰۸۱۰۵۲ | ۰,۰۳۵۵۹۴ |
| تصفیه خانه فاضلاب شوش | ۰,۰۰۵۰۳۵ | ۰,۰۲۱۸۷۴ | ۰,۰۰۷۱۳۳ | ۰,۰۱۱۶۸۳ | ۰,۰۰۴۲۶۴ | ۰,۰۴۴۸۵۵ | ۰,۰۱۹۶۹۸ |
| تصفیه خانه فاضلاب اکباتان | ۰,۰۰۶۷۸۷ | ۰,۰۲۹۴۸۶ | ۰,۰۰۹۶۱۶ | ۰,۰۰۵۷۴۷ | ۰,۰۰۵۷۴۷ | ۰,۰۶۰۴۶۴ | ۰,۰۲۶۵۵۳ |

ادامه‌ی جدول ۱۳.

| | حملات شیمیایی، میکروبی، هسته یی | تهدیدات زیستی (بیوتروریسم، مواد و کالای آلوده، شیوع بیماری و ...) | حملات با بمب های الکترومغناطیسی، گرافیتی، صوتی | حملات هوایی و موشکی | سایر تروریسم |
|---|---|---|---|---|---|
| چاه ها، چشمه ها، رودخانه ها | ۰,۳۳۳۷۸۲ | ۰,۲۲۷۸۴ | ۰,۰۷۷۲۷۱ | ۰,۲۹۸۰۳۴ | ۰,۱۳۴۱۴۷ |
| تلمبه خانه ها | ۰,۰۴۱۹۳۱ | ۰,۰۲۸۶۲۲ | ۰,۰۰۹۷۰۷ | ۰,۰۳۷۴۴ | ۰,۰۱۶۸۵۲ |
| شبکه توزیع آب | ۰,۰۰۲۳۰۹ | ۰,۰۰۱۵۷۶ | ۰,۰۰۰۵۳۴ | ۰,۰۰۲۰۶۲ | ۰,۰۰۰۹۲۸ |
| مخازن ذخیره | ۰,۰۰۴۸۱۱ | ۰,۰۰۳۲۸۴ | ۰,۰۰۱۱۱۴ | ۰,۰۰۴۲۹۶ | ۰,۰۰۱۹۳۴ |
| سد امیر کبیر | ۰,۸۳۵۲۶۸ | ۰,۵۷۰۱۵۴ | ۰,۱۹۳۳۶۵ | ۰,۷۴۵۸۱۱ | ۰,۳۳۵۶۹۴ |
| سد طالقان | ۰,۶۳۰۴۳۸ | ۰,۴۳۰۳۳۷ | ۰,۱۴۵۹۴۶ | ۰,۵۶۲۹۱۸ | ۰,۲۵۳۳۷۳ |
| سد لتیان | ۰,۹۳۱ | ۰,۶۳۵۵۰۱ | ۰,۲۱۵۵۲۷ | ۰,۸۳۱۲۹ | ۰,۳۷۴۱۶۹ |
| سد لار | ۰,۴۰۵۰۹۶ | ۰,۲۷۶۵۱۹ | ۰,۰۹۳۷۸ | ۰,۳۶۱۷۱ | ۰,۱۶۲۸۰۸ |
| سد ماملو | ۰,۲۹۳۱۸۳ | ۰,۲۰۰۱۲۷ | ۰,۰۶۷۸۷۲ | ۰,۲۶۱۷۸۳ | ۰,۱۱۷۸۳ |
| سد نمرود | ۰,۲۲۶۵۵ | ۰,۱۵۴۶۴۳ | ۰,۰۵۲۴۴۶ | ۰,۲۰۲۲۸۶ | ۰,۰۹۱۰۵ |
| سد زیارت | ۰,۱۷۴۳۴۵ | ۰,۱۱۹۰۰۸ | ۰,۰۴۰۳۶۱ | ۰,۱۵۵۶۷۲ | ۰,۰۷۰۰۶۹ |
| سد شهید غفوری | ۰,۱۹۲۳۲۷ | ۰,۱۳۱۲۸۲ | ۰,۰۴۴۵۲۴ | ۰,۱۷۱۷۲۸ | ۰,۰۷۷۲۹۶ |
| تصفیه خانه شماره یک (جلالیه) | ۰,۰۱۶۲۹۹ | ۰,۰۱۱۱۲۶ | ۰,۰۰۳۷۷۳ | ۰,۰۱۴۵۵۳ | ۰,۰۰۶۵۵۱ |
| تصفیه خانه شماره دو (کن) | ۰,۰۲۰۵۶۳ | ۰,۰۱۴۰۳۶ | ۰,۰۰۴۷۶ | ۰,۰۱۸۳۶ | ۰,۰۰۸۲۶۴ |
| تصفیه خانه شماره (۳و ۴) | ۰,۰۱۵۸۵۱ | ۰,۰۱۰۸۲ | ۰,۰۰۳۶۷ | ۰,۰۱۴۱۵۴ | ۰,۰۰۶۳۷۱ |
| تصفیه خانه شماره پنج | ۰,۰۱۶۱۹۵ | ۰,۰۱۱۰۵۵ | ۰,۰۰۳۷۴۹ | ۰,۰۱۴۴۶۱ | ۰,۰۰۶۵۰۹ |
| تصفیه خانه شماره شش | ۰,۰۲۱۸۴۴ | ۰,۰۱۴۹۱۱ | ۰,۰۰۵۰۵۷ | ۰,۰۱۹۵۰۵ | ۰,۰۰۸۷۷۹ |
| تصفیه خانه شماره هفت (سوهانک) | ۰,۰۱۸۱۰۴ | ۰,۰۱۲۳۵۸ | ۰,۰۰۴۱۹۱ | ۰,۰۱۶۱۶۵ | ۰,۰۰۷۲۷۶ |
| تصفیه خانه فاضلاب صاحبقرانیه | ۰,۰۲۹۸۶۹ | ۰,۰۲۰۳۸۸ | ۰,۰۰۶۹۱۵ | ۰,۰۲۶۶۷ | ۰,۰۱۲۰۰۴ |
| تصفیه خانه فاضلاب محلاتی | ۰,۰۴۶۰۴۳ | ۰,۰۳۱۴۲۹ | ۰,۰۱۰۶۵۹ | ۰,۰۴۱۱۱۲ | ۰,۰۱۸۵۰۵ |
| تصفیه خانه فاضلاب زرگنده | ۰,۰۳۳۷۱ | ۰,۰۲۳۰۱۱ | ۰,۰۰۷۸۰۴ | ۰,۰۳۰۱ | ۰,۰۱۳۵۴۸ |
| تصفیه خانه فاضلاب قیطریه | ۰,۰۲۴۷۷۴ | ۰,۰۱۶۹۱ | ۰,۰۰۵۷۳۵ | ۰,۰۲۲۱۲ | ۰,۰۰۹۹۵۷ |
| تصفیه خانه فاضلاب شهرک قدس | ۰,۰۹۹۵۳۶ | ۰,۰۶۷۹۴۳ | ۰,۰۲۳۰۴۲ | ۰,۰۸۸۸۷۵ | ۰,۰۴۰۰۰۳ |
| تصفیه خانه فاضلاب شوش | ۰,۰۵۵۰۸۵ | ۰,۰۳۷۶۰۱ | ۰,۰۱۲۷۵۲ | ۰,۰۴۹۱۸۵ | ۰,۰۲۲۱۳۸ |
| تصفیه خانه فاضلاب اکباتان | ۰,۰۷۴۲۵۳ | ۰,۰۵۰۶۸۵ | ۰,۰۱۷۱۸۹ | ۰,۰۶۶۳ | ۰,۰۲۹۸۴۲ |

بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی آسیب‌پذیری دارایی‌ها سد لتیان بر مبنای معیارهای قابلیت کشف و شناسایی، قابلیت دسترسی به هدف، شاخص ضعف بخش، قابلیت بازسازی، شاخص آسیب‌های ثانویه، شاخص اثرات هم‌افزا با دارا بودن عدد آسیب‌پذیری ۰/۹۳۱ و قرارگرفتن در رتبه‌ی نخست ارزیابی دارایی‌ها، آسیب‌پذیرترین نقطه در بین سایر تأسیسات آب‌رسانی شهر تهران است.

بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک تهدید سد لتیان با عدد ریسک ۰/۹۳۱ ناشی از حملات شیمیایی، میکروبی و هسته‌یی به ریسک‌پذیرترین عضو در بین تأسیسات آب و فاضلاب تهران است. بعد از آن سد امیرکبیر با عدد ۰/۸۳۵۳ و سد طالقان با عدد ۰/۶۳۰۴ در ردیف‌های دوم وسوم بین تأسیسات آب و فاضلاب قرار دارند.

## پانوشت‌ها

2. markov latent effect
3. infrastructure vulnerability assessment model
4. supervisory control and data acquisition

1. hierarchical holographic model

5. Kartune (southern Italy)
6. Ramcap
7. Leontief
8. risk analysis and management for critical asset protection
9. analytical hierarchy process
10. saaty
11. recognizability
12. effect
13. vulnerability
14. recuperability
15. accessibility
16. criticality
17. design-attack-defend model

## منابع (References)


1. Sadiq, R. and et al. "Aggregative risk analysis for water quality failure in distribution networks", **53**(4), pp. 241-261 (2004).
2. Sadiq, R., Kleiner, Y. and Rajani, B. "Water quality failure in distribution networks: a framework for an aggregative risk analysis", *in 2003 AWWA Annual Conference* (2003).
3. Zhao, D.-M., Wang, J.-H. and Ma. J.-F. "Fuzzy risk assessment of the network security. in machine learning and cybernetics", *in 2006 International Conference on* IEEE (2006).
4. Gleick, P.H.J.W.p. "Water and terrorism", water policy,**8**(6), pp. 481-503 (2006).
5. Haimes, Y.Y. and et al. "Reducing vulnerability of water supply systems to attack", *Journal of Infrastructure systems*, **4**(4), pp. 164-177 (1998).
6. Tidwell, V.C. and et al. "Threat assessment of water supply systems using markov latent effects modeling", *World Water and Environmental Resources Congress*, **131**(3), pp. 218-227 (2004).
7. Michaud, D. and Apostolakis, G.E.J.J.O.I.S. "Methodology for ranking the elements of water-supply networks", Journal of infrastructure systems, **12**(4), pp. 230-242 (2006).
8. Ezell, B.C.J.R.A.A.I.J. "Infrastructure vulnerability assessment model", *(I-VAM)*, **27**(3), pp. 571-583 (2007).
9. Fares, H. and Zayed, T.J.J.O.P.S.E. Practice. "Hierarchical fuzzy expert system for risk of failure of water mains", *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, **1**(1), pp. 53-62 (2010).
10. Tchorzewska-Cieslak, B.J.E.P.E. "Matrix method for estimating the risk of failure in the collective water supply system using fuzzy logic", *Environment Protection Engineering*, **37**(3), pp. 111-118 (2011).
11. Di Nardo, A. and et al. "Water network protection from intentional contamination by sectorization", *Water resources management*, **27**(6), pp. 1837-1850 (2013).
12. Maiolo, M. and Pantusa, D.J.C.E. "Infrastructure vulnerability index of drinking water systems to terrorist attacks", *Congent Engineering*, **5**(1), p. 1456710 (2018).
13. Tabesh, M., Roozbehani, A. and Hadigol, F. "Risk assessment of water treatment plant using fuzzy tree analysis (case study: tehran jalaliyeh refinery)", *Journal of Water and Wastewater*, **29** (4), pp. 132-144 (In persian) (2018).
14. Nakhaie. and et al. "Risk assessment of urban water supply systems of the country against threats using RAMCAP", **28**(4), pp. 20-10.9 (In persian) (2017).
15. Eskandari, M., Omidvar, B. and Tavakoli, S. "Analysis of vital arterial damage with regard to the effects of dependence on targeted attacks", *Crisis Management Research, 3 (Particulars of the Week of Non-Operating Defense 93)*, **1**(88), From page 2 to 14, pp. 19-30 (In persian) (2015).
16. Asgharan, M., Tabesh, M., Roozbehani, and et al. "Risk assessment of sewage collection networks using fuzzy decision approach", *Journal of Water And Wastewater*, **26**(4), pp. 74-87 (In Persian) (2015).
17. Saaty, T.L.J.I.J.O.S.S. "Decision making with the analytic hierarchy process", *Int. J. Services Sciences*, **1**(1), pp. 83-98 (2008).
18. Saaty, T.L.J.M.s. "An exposition of the AHP in reply to the paper, remarks on the analytic hierarchy process", *Management Science*, **36**(3), pp. 259-268 (1990).
19. Liu, R. and et al. "Introduction to the ANP super decisions software and its application", *System Engineering theory and practice*, **8**, pp. 024 (2003).
20. Golden, B.L. and et al. "The analytic hierarchy process", (1989).
21. Washington, A., *All-hazards Risk and Resilience: Prioritizing Critical Infrastructures Using the RAMCAP Plus [Hoch] SM Approach*, ASME. (2009).
22. Bilgic, E. and Kara, G.T. and Gündüz, O.J.S. "Assessment of risk for drinkining infursture by caver method : case study", *İZMİR*, **8**(3), pp. 199-208 (2017).
23. Yazdani, M., Alidoosti, A. and Zavadskas, E.K. "Risk analysis of critical infrustures using fuzzy COPRAS", *Ekonomska Istrazivanja*, **24**(4), pp. 27-40 (2011).
24. Alidoosti, A., Yazdani. M. and Fouladgar, M. H. "Risk assessment of critical asset using fuzzy inference system", *Risk Management*, **14**(1), pp. 77-91 (2012).
25. Roozbehani, A., Zahraee, B. and Tabesh, M. "Integrated risk assessment of urban water supply systems from soureces to tap", *Stochastic Environmental Reseach and Risk Assessment*, **24**(4), pp. 923-944 (2013).
26. Babick, J.P. "TRI-level optimization of critical inference resilence", MSc Thesis, Naval Postgraduate school, Monterey, California, USA.